

琼东南盆地乐东—陵水凹陷 中新统储层流体包裹体特征及成藏期研究

高媛^{1,2}, 曲希玉^{1,2}, 杨希冰³, 尤丽³, 钟佳³, 董晓芳¹, 曹英权¹, 王岳鹏⁴

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院; 2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室)

(3 中海石油(中国)有限公司湛江分公司; 4 中国石油集团东方地球物公司研究院资料处理中心)

摘要 通过流体包裹体的镜下观察及均一温度测定,对琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体特征及成藏期进行了研究。研究表明:流体包裹体主要沿石英愈合裂隙呈带状分布,部分在石英颗粒边缘分布或切穿多个碎屑颗粒;主要包括盐水包裹体、液烃包裹体、气烃包裹体和气液烃包裹体四种类型,其中烃类包裹体呈三期发育,荧光下多为黄色—蓝白色,有机质成熟度较高;流体包裹体的均一温度呈不连续分布,峰值主要集中在130~150℃范围内。根据流体包裹体的特征、产状及均一温度,综合分析认为,中新统储层主要发育三期烃类流体充注和一期CO₂流体充注,其中第二、第三期烃类流体充注为主要成藏期,CO₂流体充注发生在天然气充注晚期。结合埋藏史与热演化史可知主要成藏期为1.9 Ma~1 Ma,对应新近纪上新世莺歌海末期—第四纪更新世乐东期。

关键词 琼东南盆地;乐东凹陷;陵水凹陷;流体包裹体;均一温度;流体充注;成藏期

中图分类号: TE122.3¹

文献标识码: A

据统计,目前全球深水油气的开发量仅占总油气储量的3%,因而它们具有极大的开发潜力,深水油气勘探开发已成为海上油气勘探开发的热点和主要方向^[1-2]。乐东凹陷、陵水凹陷(亦即本文的乐东—陵水凹陷)位于南海北部琼东南盆地深水区中央坳陷带的西部,已经发现了储量超1000×10⁸m³的大气田,显示出极大的油气勘探潜力^[3-4]。但由于乐东—陵水凹陷的地质结构复杂,同时受勘探理论和技术水平的限制,深水区的探井及地球物理资料非常有限,目前仅在构造演化规律^[5-6]、烃源岩类型及分布^[7-10]、沉积演化规律及控制因素、沉积样式^[11-13]等方面取得了一定的认识,且在成藏规律的研究上多集中于成藏条件与成藏模式的探讨^[14-16],而对油气成藏期的研究却较薄弱。

油气成藏期的确定是研究油气藏形成、分布规律的核心,也是油气勘探评价过程中需要首先研究和解决的重要问题^[17-18]。由于乐东—陵水凹陷有限的地质资料,难以依据盆地构造发育史、圈闭形成史与烃源岩生排烃史来确定油气成藏期,因此只好借

助于烃类流体的运聚历史和过程来判断油气成藏期。储层流体包裹体作为一个封闭的环境,它记录了烃类流体和孔隙水的性质、组分、物化条件及捕获时的成岩温度,因而能够反映成藏时的地质条件^[18]。前人已经通过流体包裹体特征对琼东南盆地东部地区、崖城地区的成藏期次进行了研究,证实了这一方法在该盆地的可行性^[19-20]。本文旨在通过分析乐东—陵水凹陷的中新统储层流体包裹体及均一温度特征,并结合地层埋藏史、热演化史,对中新统油气成藏期进行研究,为该区后续油气勘探及成藏研究奠定基础。

1 地质概况

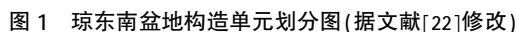
1.1 区域地质概况

乐东—陵水凹陷位于琼东南盆地中部的中央坳陷带西段(图1),西与莺歌海盆地相邻,北与东南被崖南低凸起、陵水低凸起、松南低凸起和陵南低凸起

收稿日期: 2017-08-01; 改回日期: 2017-12-03

本文受国家自然科学基金项目“幔源CO₂侵位的次生油气藏响应—以松辽盆地南部为例”(项目编号:41372133)资助

高媛:女,1992年生,硕士研究生,研究方向为储层地质学。通讯地址:266580 山东省青岛市黄岛区长江西路66号中国石油大学(华东);E-mail: 447652606@qq.com



乐东—陵水凹陷的海水深度大,裂隙沉积作用显著,具有典型的“高温超压”特征,且超压规模大、强度高,主要分布在黄流组及以下地层中^[22-23]。高温高压的盆地背景,促使烃源岩快速成熟,早期受抑制的生烃作用导致烃源岩大量生气的时期较晚,晚期又促进生烃,与圈闭形成的时空配置好,因而有利于天然气晚期成藏。同时高压使储层物性保存较好,可达特高—高孔、特高—高渗,也有利于油气储集^[4]。乐东—陵水凹陷发育底辟构造、裂隙和小断层,有利于在垂向上沟通深部烃源岩层与浅部储层;而且黄流组发育多期峡谷水道砂体,厚度大,横向连通性好,也为油气运移提供了良好的条件。油气在深部高压的作用下通过底辟、裂隙和小断层进入储层后,受到浮力的驱动,可经连片砂体侧向输

本文通过岩石薄片鉴定及X-衍射全岩分析,对乐东—陵水凹陷的中新统储层岩石学特征进行了研究。黄流组峡谷水道砂体与梅山组海底扇砂体,这两套储层的岩石类型主要以长石岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主,并含有少量的岩屑砂岩(图2)。碎屑组分以石英为主,其次含有少量的斜长石、钾长石、岩屑与生物碎屑;岩屑类型主要为岩浆岩岩屑与变质岩岩屑;胶结物类型主要为碳酸盐胶结、硅质胶结及少量的黏土矿物胶结,在部分岩石薄片中还可见海绿石胶结。黄流组峡谷水道砂岩、梅山组海底扇砂岩的储层孔隙类型以原生粒间孔为主,发育粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、生物体腔孔等次生孔隙。黄流组储层孔隙度、渗透率的主要分布区间为10%~15%、 $(100\sim1\,000)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,呈低—中孔、中—高渗特征,孔喉大小较均一,连通性好;梅山组储层孔隙度、渗透率的主要分布范围为15%~20%、 $(1\sim10)\times10^{-3}\mu\text{m}$,呈低—中孔、低—中渗特征,孔喉大小不均一,连通性较差。黄流组和梅山组的砂岩储层经历了多种成岩作用,其中溶解作用可产生次生孔隙,极大地改善了储层的储集性能,而且超压环境也有利于对储层原生孔隙的保护。

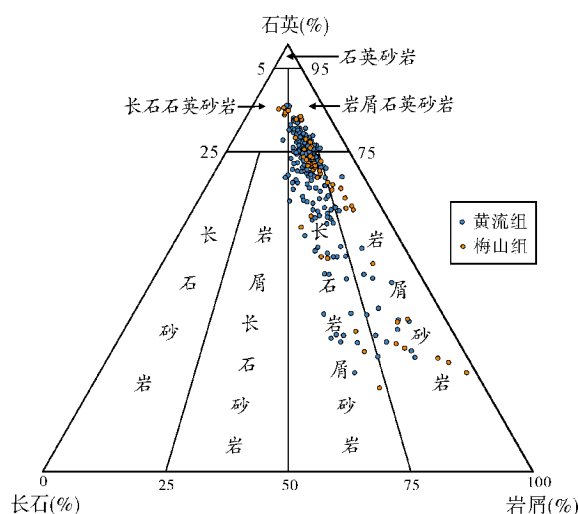


图2 琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统储层砂岩成分三角图

2 流体包裹体特征

乐东—陵水凹陷研究区内共有13口钻井(图1),由于资料有限,仅采取了YCA-1、YCB-1、LSX-1和LSX-2井的15个中新统储层样品,进行流体包裹体镜下观察及均一温度测定。由于部分包裹体薄片单偏光下颜色较深,镜下照片中包裹体特征不明显,因此选取了与包裹体薄片同一深度的铸体薄片进行辅助观察。实验分析由中国石油大学(华东)实验室完成,通过ZEISS-AX10偏光-荧光一体镜对流体包裹体进行鉴定及镜下观察分析,以LINKAM THMS600型冷热台进行流体包裹体均一温度的测定,数据精确度为1℃。由于烃类包裹体中流体组分存在差异、有机质具有不稳定性,因而导致均一温度差异较大,不能反映包裹体被捕获时的地层温度,因此,本次研究选取了与烃类包裹体同期共生的、稳定性较高的盐水包裹体进行均一温度测定。

2.1 包裹体类型及特征

乐东—陵水凹陷中新统储层中,流体包裹体较为发育,主要沿石英愈合裂隙呈带状分布(图3a),在方解石胶结物中也发现了少量的包裹体(图3b)。石英中的包裹体普遍细小,大部分在 $2\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}\sim 4\mu\text{m}\times 8\mu\text{m}$ 之间(表1),形态不规则且分布密集。根据常温下成分和相态的差异,可划分为盐水包裹体和烃类包裹体两种类型,且两者具有共生关系。

盐水包裹体主要为气液两相包裹体,经拉曼光谱分析测试,证实部分为富 CO_2 包裹体(图3c),可见少量 CO_2 三相包裹体(图3d)。包裹体主要是沿石英愈合裂隙呈带状分布或在石英颗粒边部、切穿多个碎屑颗粒分布的次生包裹体(图3e),还有少量在石英加大边中成群或者孤立分布的原生包裹体(图3f),盐水包裹体的形态不规则,气液比多在5%~10%之间(表1)。

烃类包裹体主要有液烃包裹体、气烃包裹体和气液烃包裹体三种类型。液烃包裹体形态不规则,单偏光镜下呈褐色、黑色,荧光下部分无荧光,少量有较弱的黄色或蓝白色荧光(图3g);气烃包裹体在单偏光下呈灰色、灰黑色和黑色,无荧光显示(图3d);气液烃包裹体形态不规则,单偏光镜下气相呈圆球状悬浮在液相中,液相以无色透明为主,无荧光显示(图3h)。有机流体包裹体的荧光特征能够反映有机质的成分及热演化程度,其荧光颜色由红色→橙色→黄色→绿色→蓝白色→白色→无色的变化,反映了包裹体中有机质从低成熟度向高成熟度演化。本次研究中烃类包裹体在荧光下大多为黄色—蓝白色,说明有机质成熟度相对较高^[24]。

镜下观察发现,岩石内部石英次生加大现象较为普遍,加大特征十分典型,可见明显的三期次生加大特征(图3i)。同时,烃类包裹体也具有三期发育的特征,第一期发育于石英次生加大早期,包裹体在石英次生加大边内侧或沿石英愈合裂隙成群、成带分布,主要为褐色、黑色的液烃包裹体;第二期发育于石英次生加大同期或期后,包裹体成带、成群分布于石英愈合裂隙中;第三期发育于石英愈合裂隙中,切穿多个石英颗粒,主要为灰黑色气烃包裹体,无荧光显示,而且该期包裹体伴生有富 CO_2 包裹体,可见 CO_2 三相包裹体与气烃包裹体同时产出(图3d),说明气液烃包裹体形成于富 CO_2 流体环境,同时在石英颗粒表面可见不同期次的包裹体相互切穿(图3j)。此外,岩石孔隙中充填有无荧光的干沥青并呈带状分布,局部可见晚期沥青交代早期碳酸盐胶结物(图3k),说明其形成时间较晚,在沥青包裹体周围可见伴生的灰黑色气烃包裹体(图3l)。

2.2 包裹体均一温度特征

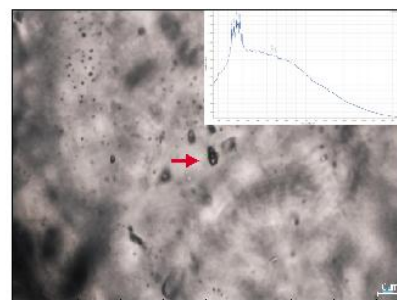
均一温度测试主要选取产出于石英愈合裂隙中能够反映成岩与成藏环境的流体包裹体作为研究对



(a) 气液两相盐水包裹体, 分布在石英愈合裂隙中。LSX-1井3528.6m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



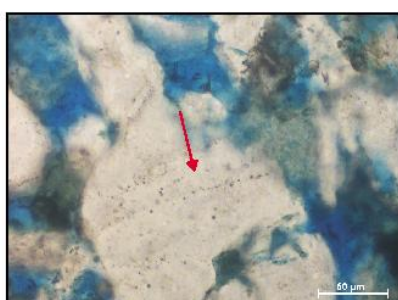
(b) 气液两相盐水包裹体, 分布在方解石胶结物中。YCA-1井4009m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



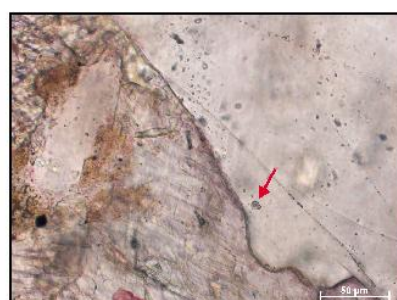
(c) 富CO₂包裹体(经拉曼光谱测试)。右上角为拉曼光谱谱图。YCA-1井3980m, 梅山组。包裹体薄片, 拉曼测试



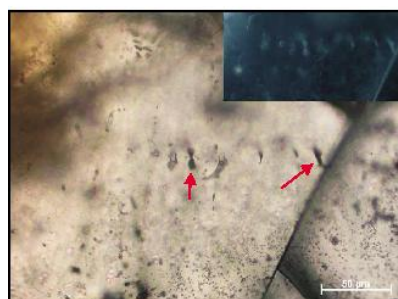
(d) CO₂三相包裹体及伴生灰黑色气态包裹体。分布在石英愈合裂隙中。YCA-1井3980.5m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



(e) 气液两相盐水包裹体, 包裹体切穿整个石英颗粒。LSX-2井3794.43m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



(f) 气液两相原生包裹体, 在石英次生加大边中孤立分布。YCA-1井4009m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



(g) 黑褐色液烃包裹体, 沿石英愈合裂隙分布。右上角为液烃包裹体黄白色荧光。YCA-1井4394m, 梅山组。包裹体薄片, 单偏光



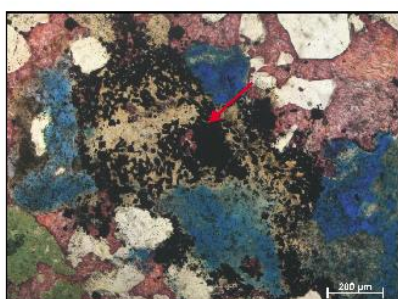
(h) 气液烃包裹体, 分布在石英颗粒边部。YCA-1井3980m, 梅山组。包裹体薄片, 单偏光



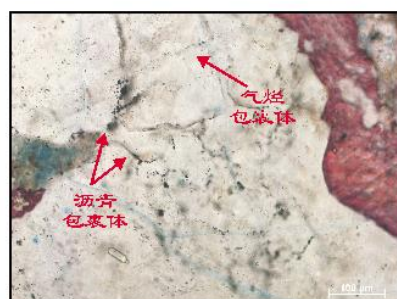
(i) 石英次生加大, 加大边具有一期加大特征。YCA-1井3980.5m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



(j) 不同期次的包裹体相互切穿。YCA-1井3992m, 梅山组。包裹体薄片, 单偏光



(k) 干沥青交代早期碳酸盐胶结物。YCA-1井4009m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光



(l) 沥青包裹体周围伴生灰黑色气态包裹体。YCA-1井4009m, 梅山组。铸体薄片, 单偏光

图3 琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体特征

表1 琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体测试数据(部分)

| 井号 | 深度 (m) | 地层 | 类 型 | 宿主矿物 | 分布部位(状态) | 伴生类型 | 大小 (μm) | 气液比 (%) | 均一温度 (℃) |
|-------|---------------|-----|----------------------|------|----------|----------------------|------------|------------|-------------|
| YCA-1 | 3980 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 气烃包裹体 | 2×1 | 5 | 151 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 气烃包裹体 | 4×10 | 10 | 130 |
| | | | 富CO ₂ 包裹体 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 4×8 | 20 | 243 |
| | | | 富CO ₂ 包裹体 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×10 | 15 | 238 |
| | 3992 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 颗粒边部 | 沥青包裹体 | 4×16 | 15 | 172 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 加大边成群分布 | 无 | 4×8 | 10 | 174 |
| | | | 富CO ₂ 包裹体 | 石英 | 切穿多个颗粒 | 无 | 4×6 | 15 | 232 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 加大边孤立分布 | 无 | 4×6 | 10 | 125 |
| | 3996 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 2×6 | 5 | 128 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 2×6 | 5 | 100 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 气烃包裹体 | 4×6 | 10 | 144 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 加大边成群分布 | 无 | 10×18 | 5 | 135 |
| | 4000 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 沥青包裹体 | 2×4 | 5 | 169 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 沥青包裹体 | 8×20 | 10 | 172 |
| | | | 富CO ₂ 包裹体 | 石英 | 切穿多个颗粒 | 无 | 2×1 | 15 | 243 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 富CO ₂ 包裹体 | 4×14 | 10 | 155 |
| | 4012 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 2×2 | 5 | 125 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 4×6 | 5 | 93 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 30×10 | 20 | 149 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 1×1 | 5 | 134 |
| YCB-1 | 4394 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 4×4 | 5 | 144 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×4 | 5 | 153 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×4 | 5 | 153 |
| | 3528~ 3530 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×4 | 10 | 98 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×6 | 10 | 115 |
| | 3546 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 97 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 4×1 | 5 | 131 |
| | 3608~ 3609 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 118 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 2×1 | 5 | 117 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 液烃包裹体 | 2×1 | 5 | 118 |
| LSX-1 | 3610 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×4 | 5 | 91 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 3×1 | 5 | 107 |
| | 3786 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 1×1 | 5 | 134 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 100 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 颗粒边部 | 无 | 4×10 | 10 | 157 |
| | 3791 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 132 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 颗粒边部 | 无 | 2×4 | 10 | 134 |
| | 3791 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 132 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 颗粒边部 | 无 | 2×4 | 10 | 134 |
| | 3791 | 梅山组 | 气液两相 | 石英 | 愈合裂隙 | 无 | 2×1 | 5 | 132 |
| | | | 气液两相 | 石英 | 颗粒边部 | 无 | 2×4 | 10 | 134 |

象,通过测定包裹体均一温度来判别其对应的油气充注期次。此次共测得温度点111个,由于测试数据较多,包裹体类型相同且均一温度相近的测试数据中只保留了部分进行展示说明(表1),根据实测温度数据作出各口井及全区的包裹体均一温度直方图(图4)。

由图4可以看出,乐东—陵水凹陷LSX-1井中流体包裹体样品的均一温度多分布在90~140℃,同时,少部分流体包裹体的温度出现在230~240℃(图4a);

LSX-2井和YCB-1井的流体包裹体的温度分别集中在130~140℃和140~150℃为主(图4b,4c);YCA-1井的流体包裹体的温度主要分布在120~160℃,主峰期温度在140~150℃,少部分流体包裹体的温度出现在230~250℃(图4d)。从全区来看,乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体的均一温度呈不连续分布,均一温度的峰值主要集中在130~160℃范围内(图4e)。

结合乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体的均一温度及伴生的烃类包裹体的特征,认为乐东—陵

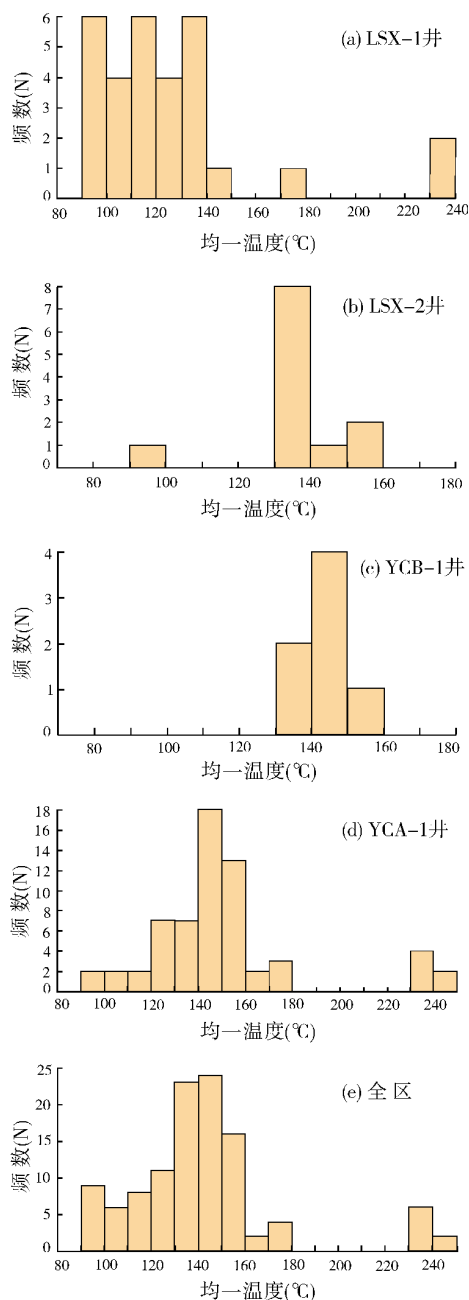


图4 琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体均一温度分布直方图

水凹陷中新统储层主要存在三期油气流体充注。第一期以无荧光的黑色液烃包裹体为代表,均一温度主要分布在 90~120℃范围,为低成熟油气充注。第二期以发黄色—蓝白色荧光的液烃包裹体为代表,均一温度范围 120~140℃,峰值集中于 125~135℃,为较高成熟油气充注;此外,在石英加大边中测试原生盐水包裹体所得均一温度为 125℃,推断石英加大边也

形成于该时期。第三期以无荧光显示的气烃包裹体为代表,均一温度在 140~160℃范围,峰值集中于 145~155℃,主要为天然气充注;流体包裹体的均一温度在 230~250℃也有分布,主要为富 CO₂ 包裹体,可见在天然气充注晚期,有高温的 CO₂ 流体侵入,并导致先期形成的油气裂解,形成沥青,经测试,与沥青形成准同期的流体包裹体均一温度范围在 160~180℃之间,而富 CO₂ 包裹体的温度更高,经测试在 238~248℃之间。

3 成藏时间

乐东—陵水凹陷主要发育始新统湖相、渐新统海陆过渡相和中新统半深海—深海相三套烃源岩,其规模大,热演化程度高,生烃潜力巨大,为深水油气勘探提供了坚实的物质基础。由于乐东—陵水凹陷埋深大,深部始新统烃源岩在全区几乎处于过成熟阶段,不利于油气聚集^[8]。而渐新统烃源岩埋藏相对较浅,已达到成熟—高成熟阶段,局部地区甚至达到过成熟阶段,这套烃源岩生成的天然气有利于浅部圈闭聚集,对供烃具有重要贡献,其中崖城组海陆过渡相和浅海相地层是主力烃源岩^[8-10],它在中新统三亚组沉积末期到梅山组沉积时期进入生油和生气高峰期,而陵水组进入生油和生气高峰期是在黄流组沉积末期到莺歌海组沉积时期^[7],总体上,渐新统烃源岩生烃高峰期较晚,具晚期生气的特点。

根据研究区包裹体均一温度特征,结合时间—温度埋藏史图,可以确定包裹体形成时的地层埋深及对应的地质时代,从而可以确定油气的充注时间(图5)。由于YCA-1井包裹体薄片质量较高,观测到的包裹体数量较多,且烃类包裹体主要集中于YCA-1井,因此选取YCA-1井的时间—温度埋藏史图为代表,进行成藏时间的确定。

乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体的均一温度呈现两个不连续的峰群,其温度段分别为90~160℃和230~250℃(图4),对应于烃类充注期及CO₂流体侵入期。包裹体均一温度显示,在90~160℃时均有烃类流体活动,说明油气成藏是一个连续充注的过程。根据流体包裹体均一温度的分布特征,可将90~160℃分成三个主要温度段,即三期主要的油气流体充注。第一个温度段为90~120℃,这期流体活动较早,以低成熟油气充注为主,大致形成于4.2 Ma~2.2 Ma,对应于新近纪上新世莺歌海期。第二、第三

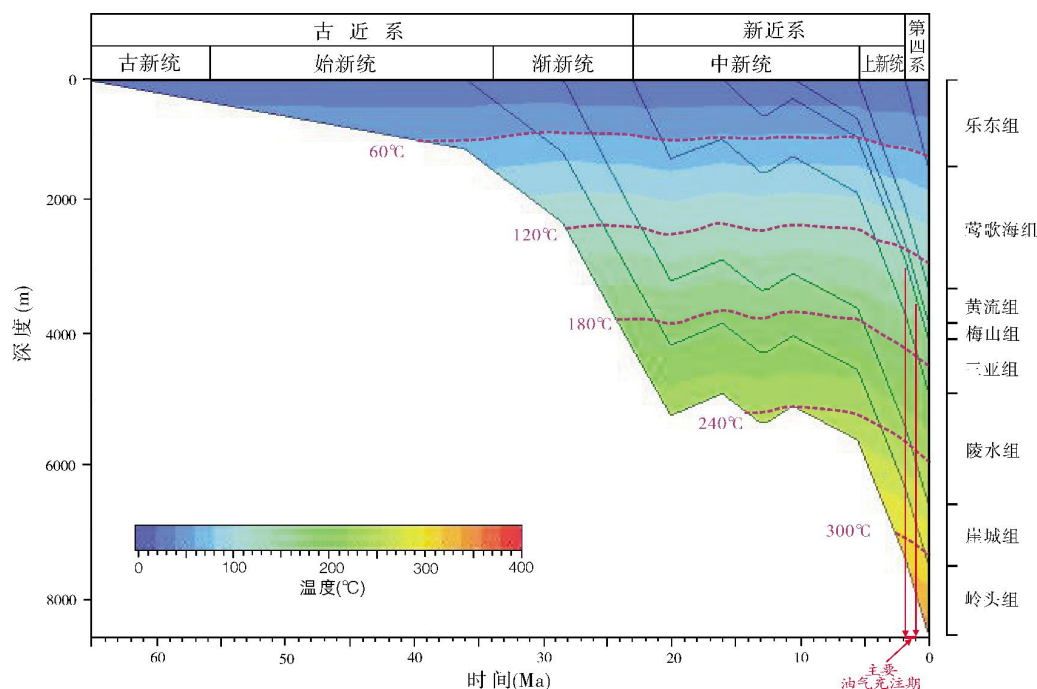


图5 琼东南盆地乐东—陵水凹陷YCA-1井埋藏史图

个温度段分别为120~140 °C和140~160 °C,峰值集中于130~150 °C,大致形成于1.9 Ma~1 Ma,对应于新近纪上新世莺歌海末期—第四纪更新世乐东期,第二期、第三期油气充注以较高成熟油气充注为主,为油气充注主要时期。高温CO₂流体充注则发生在天然气充注的晚期,对应时期大致为第四纪,说明富CO₂的热流体活动期较晚,可能与新生代以来发生的火山活动有关^[25]。在高温高压的地质背景下,CO₂流体具有很强的溶蚀性,能够对长石等矿物进行有效溶蚀^[26],目前已在莺歌海盆地东方便黄流组储层中发现大量由CO₂热流体形成的溶蚀孔,以及在琼东南盆地东部的宝岛凹陷北缘储层中也发现受到幔源CO₂流体溶蚀影响而形成的异常高孔带^[27]。乐东—陵水凹陷具有典型的“高温超压”特征,CO₂流体的侵入是否会对储层的储集性能具有建设性的作用还有待于进一步验证。

4 结 论

(1)乐东—陵水凹陷中新统储层发育有大量的流体包裹体,主要包括盐水包裹体和烃类包裹体两大类,烃类包裹体可分为液烃包裹体、气烃包裹体和气液烃包裹体三种类型,具有三期发育的特征。荧光下,烃类包裹体大多为黄色—蓝白色,有机质成熟度相对较高。

(2)流体包裹体的特征产状及均一温度表明,乐东—陵水凹陷中新统储层存在三期油气流体充注和一期高温CO₂流体充注。第一期是以黑色液烃包裹体为代表的低成熟油气充注,对应流体包裹体的均一温度为90~120 °C;第二期以发黄色荧光的液烃包裹体为代表,均一温度范围120~140 °C,峰值集中于125~135 °C;第三期以无荧光显示的气烃包裹体为代表,均一温度范围在140~160 °C,峰值集中于145~155 °C。富CO₂包裹体的均一温度为238~248 °C,CO₂流体充注发生在天然气充注晚期。

(3)根据乐东—陵水凹陷中新统储层流体包裹体特征并结合埋藏史、热演化史,确定油气成藏是一个烃类流体连续充注的过程,其中第二、第三期油气充注为主要成藏期,成藏时间为1.9 Ma~1 Ma,对应新近纪上新世莺歌海末期—第四纪更新世乐东期。

参 考 文 献

- [1] 杨川恒,杜栩,潘和顺,等. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水油气勘探潜力[J]. 地学前缘,2000,7(3): 247-256.
- [2] 吕福亮,贺训云,武金云,等. 世界深水油气勘探现状、发展趋势及对我国深水勘探的启示[J]. 中国石油勘探,2007(6): 28-31.
- [3] 谢玉洪. 南海北部自营深水天然气勘探重大突破及其启示[J]. 天然气工业,2014,34(10): 1-8.

- [4] 尤丽,王振峰,钟佳,等. 乐东—陵水凹陷黄流组峡谷水道储层特征及影响因素[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 31-38.
- [5] 赵民,张晓宝,吉利明,等. 琼东南盆地构造演化特征及其对油气藏的控制浅析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 494-502.
- [6] 苏明,张成,解习农,等. 深水峡谷体系控制因素分析——以南海北部琼东南盆地中央峡谷体系为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(8): 1807-1820.
- [7] 王子嵩,刘震,孙志鹏,等. 琼东南深水区乐东—陵水凹陷渐新统烃源岩早期预测及评价[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2014, 45(3): 876-888.
- [8] 徐新德,张迎朝,梁刚,等. 南海北部琼东南盆地深水区烃源条件及天然气成藏机制[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(11): 1985-1992.
- [9] 黄保家,李绪深,王振峰,等. 琼东南盆地深水区烃源岩地球化学特征与天然气潜力[J]. 中国海上油气, 2012, 24(4): 1-7.
- [10] 黄艳辉,刘震,陈健,等. 利用地震信息定量预测烃源岩热成熟度——以琼东南盆地乐东—陵水凹陷为例[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(6): 985-994.
- [11] 姚哲,朱继田,左倩媚,等. 琼东南盆地深水区重力流沉积体系及油气勘探前景[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 21-30.
- [12] 王振峰. 深水重要油气储层——琼东南盆地中央峡谷体系[J]. 沉积学报, 2012, 30(4): 646-653.
- [13] 范彩伟,李绪深,刘昆,等. 琼东南盆地乐东—陵水凹陷中新统岩性地层圈闭成藏条件[J]. 中国海上油气, 2016, 28(2): 53-59.
- [14] 许怀智,张迎朝,林春明,等. 琼东南盆地中央峡谷天然气成藏特征及其主控因素[J]. 地质学报, 2014, 88(9): 1741-1752.
- [15] 王振峰,李绪深,孙志鹏,等. 琼东南盆地深水区油气成藏条件和勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2011, 23(1): 7-13, 31.
- [16] 杨金海,李才,李涛,等. 琼东南盆地深水区中央峡谷天然气成藏条件与成藏模式[J]. 地质学报, 2014, 88(11): 2141-2149.
- [17] 李明诚,单秀琴,马成华,等. 油气成藏期探讨[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587-591.
- [18] 李建华,范柏江,耿辉. 油气成藏期研究方法和进展[J]. 科技导报, 2010, 28(22): 106-111.
- [19] 刘正华, 陈红汉. 琼东南盆地东部地区油气形成期次和时期[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 279-288.
- [20] 贾元琴,胡沛青,张铭杰,等. 琼东南盆地崖城地区流体包裹体特征和油气充注期次分析[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 189-196.
- [21] 杜同军. 琼东南盆地层序地层和深水区沉积充填特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [22] 王子嵩,刘震,王振峰,等. 琼东南盆地深水区中央凹陷带异常压力分布特征[J]. 地球学报, 2014, 35(3): 355-364.
- [23] 苏龙,郑建京,王琪,等. 琼东南盆地超压研究进展及形成机制[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(4): 662-672.
- [24] 朱文慧,曲希玉,查明,等. 南堡凹陷下古生界流体包裹体特征及成藏期研究[J]. 世界地质, 2015, 34(1): 148-156.
- [25] 张斌,王璞珺,张功成,等. 珠—琼盆地新生界火山岩特征及其油气地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(6): 657-665.
- [26] 朱焕来,曲希玉,刘立,等. CO₂ 流体-长石相互作用实验研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(3): 697-706.
- [27] 苏奥,杜江民,陈红汉,等. 控制异常孔隙带发育的成岩流体类型与活动历史——以琼东南盆地东部宝岛北缘储层为例[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(10): 1837-1847.

编辑: 黄革萍

Characteristics of Fluid Inclusions and Accumulation Period of Miocene Reservoir in Ledong-Lingshui Sag of Qiongdongnan Basin

Gao Yuan, Qu Xiyu, Yang Xibing, You Li, Zhong Jia,
Dong Xiaofang, Cao Yingquan, Wang Yuepeng

Abstract: Based on the observation of microscope and the measurement of homogenization temperature of fluid inclusions, the characteristics of fluid inclusions and the accumulation period of Miocene reservoir in Ledong-Lingshui Sag of Qiongdongnan Basin are discussed. The results indicate that the fluid inclusions are mainly distributed along the healing fissures in quartz, partly distributed in the side of quartz granules or through multiple clastic particles. The types of fluid inclusions mainly include brine inclusions, liquid hydrocarbon inclusions, gaseous hydrocarbon inclusions and gas-liquid hydrocarbon inclusions. The hydrocarbon inclusions are developed in three phases, which present yellow and blue-white fluorescence with high organic maturity. The distribution of homogenization temperatures is discontinuous and concentrates in the range of 130°C to 150°C. According to the comprehensive analysis of characteristics and occurrence of fluid inclusions, and homogenization temperatures, it is determined that the Miocene reservoir experienced three phases of hydrocarbon filling and one phase of CO₂ filling, which happened in the late stage of natural gas injection, and the second and third phase of hydrocarbon filling are the main period of hydrocarbon accumulation. Combined with the burial history and thermal evolution, it can be concluded that the main period of hydrocarbon accumulation is 1.9Ma~1Ma.

Key words: Fluid inclusions; Homogenization temperature; Fluid filling; Accumulation period; Ledong Sag; Lingshui Sag; Qiongdongnan Basin

Gao Yuan: Master in progress at Earth Sciences & Technology College of China University of Petroleum(Huadong).
Add: 66 Changjiang Rd., Huangdao district, Qingdao, Shandong 266580, China